Über die Dispersion der elektrischen Doppelbrechung.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt der

Naturwissenschaftlich-Mathematischen Fakultät

der

Albert-Ludwigs-Universität

zu

Freiburg im Breisgau

von

Nikolaus Lyon

aus

Hamburg.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Freiburg i. Br.

Speyer & Kaerner, Universitätsbuchhandlung.

1914.

Dekan: **Geh. Hofrat Prof. Dr. L. Gattermann.**
Referent: **Geh. Rat Prof. Dr. F. Himstedt.**

Druck von A. Bonz' Erben in Stuttgart.

Einleitung.

Alle Dielectrica werden in einem homogenen elektrischen Felde doppelbrechend, wobei sie die Eigenschaften eines einachsigen Kristalles annehmen, dessen Achse in der Feldrichtung liegt. Kerr[1]), der Entdecker dieses Phaenomens, stellte die Abhängigkeit der elektrischen Doppelbrechung von der Stärke des Feldes fest. Das nach ihm genannte Gesetz lautet, daß die elektrische Doppelbrechung proportional ist der Länge der elektrisch beeinflußten Substanz, dem Quadrat des angelegten Feldes, ferner einer spezifischen Konstante, der sogenannten Kerr'schen Konstante B. Es ist also:

$$d = B \cdot l \left(\frac{P}{a}\right)^2, \text{ wobei } d$$

direkt den Gangunterschied in Wellenlängen angibt, wenn die übrigen Größen im absoluten Maßsystem gemessen werden. Dieses rein empirische Gesetz hat sich bisher bei allen ausgeführten Untersuchungen als gültig erwiesen und liegt allen Messungen der Kerrkonstanten B zugrunde. Elmén[2]) hat zwar bei schwachen Feldern Abweichungen vom Kerr'schen Gesetz gefunden, doch ist es bei der Kleinheit des Effektes sehr wahrscheinlich, daß unberücksichtigt gebliebene Versuchsfehler fälschend auf das Resultat gewirkt haben[3]). Analog

[1]) Kerr, Phil. Mag. 50 (331) 1875.
Kerr, Phil. Mag. 9 (159) 1880.
Kerr, Phil. Mag. 13 (153) 1882.

[2]) G. W. Elmén, Phys. Ann. d. Phys. (4) 165 (350) 1905.

[3]) W. König, Ann. d. Phys. 28. p. 413 (1909).

wie bei den Kristallen unterscheiden wir zwischen Substanzen mit positiver und negativer Kerrkonstante. Elektro-optisch positive Doppelbrechung analog dem Quarz zeigt z. B. Schwefelkohlenstoff, negative, wie Kalkspat, Chloroform. Bei der Kleinheit der elektrischen Doppelbrechung ist es experimentell überaus schwer, die absoluten Änderungen der Brechungsindices zu bestimmen, besonders da noch durch Elektrostriktion der Brechungsindex n_0 der unveränderten Substanz innerhalb des Feldes ein anderer wird. Die meisten Messungen beschränken sich deshalb darauf, den Gangunterschied zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl zu bestimmen. Das Prinzip dieser Messungen ist folgendes:

Ein linear polarisierter Lichtstrahl, der eine in einem homogenen Felde befindliche Flüssigkeit durchsetzt und dessen Polarisationsebene mit den Kraftlinien einen Winkel von 45° bildet, tritt elliptisch polarisiert aus. Der Gangunterschied zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl läßt sich dann mit einem Kompensator messen. Quincke[1]) führte bei Flüssigkeiten die ersten quantitativen Messungen der Art aus. In neuester Zeit ist die Kerrkonstante für Schwefelkohlenstoff wiederholt bestimmt worden, die Resultate dieser Messungen waren die folgenden.

	$B \cdot 10^{-7}$	Absolute Werte von $B \cdot 10^{-7}$ für CS_2
1. Quincke:	3,28	(für Natriumlicht)
2. J. Lemoine:	3,70	680 $\mu\mu$ (Wellenlänge)
3. G. Elmén:	3,88	23,5° C 5460 Volt/cm
	3,94	20 „ 4100
	4,09	22 „ 2080
	6,56	22 „ 990
	5,88	19 „ 955
		(560 $\mu\mu$ Wellenlänge)

[1]) Quincke. Wied. Ann. 19 p. 729. 1883.

4. C. F. Hagenow:

Wellenlänge in $\mu\mu$	430	450	500	550	600	650	700
$B \cdot 10^{-7}$:	4,54	4,20	3,59	3,12	2,73	2,51	2,32

5. Blackwell:

3,57 (für Natriumlicht)

6. O. D. Tauern:

3,198	(für Natriumlicht)	20° C.
3,299	578 $\mu\mu$	
3,682	546 $\mu\mu$	

7. Mac Comb:

Wellenlänge in $\mu\mu$:

440 460 480 500 520 540 560 580 600 630 660

$B \cdot 10^{-7}$ bei 23,5° C:

4,82 4,53 4,28 3,92 3,69 3,51 3,36 3,17 3,00 2,88 2,64

Diese Ergebnisse weichen zum Teil stark von einander ab. Sucht man nach einer Erklärung für diese geringe Übereinstimmung der sorgfältigen Messungen, so bieten sich zwei Möglichkeiten dar. Einmal kann die benutzte Substanz, also der CS_2 die Schuld tragen, dann aber können sich konstante Fehlerquellen sowohl in die optischen wie in die elektrischen Messungen eingeschlichen haben. Die Absolutbestimmung der Kerrkonstante setzt sich bekanntlich aus zwei Teilmessungen zusammen, nämlich aus einer Feldstärkemessung und einer Messung der im Schwefelkohlenstoff auftretenden Doppelbrechung (siehe Formel auf Seite 3). Wir wollen deshalb untersuchen, welchen Einfluß diese Teilmessungen auf die gesamte Meßgenauigkeit haben.

Die Doppelbrechung kann bei Benutzung von guten Nicol'schen Prismen und eines empfindlichen Halbschattensystems mit einem Kompensator sehr genau gemessen werden und ist wohl bei den meisten Messungen exakt bestimmt worden. Dagegen ist die Potentialbestimmung bei fast allen bisherigen Arbeiten nicht mit der Genauigkeit ausgeführt worden, die sie wegen des

quadratischen Einflusses auf die Meßgenauigkeit verdient. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß ein Teil der Unstimmigkeiten hierauf zurückzuführen ist. Ich habe deshalb diesem Punkte besondere Aufmerksamkeit geschenkt und glaube, daß die auf Seite 14 beschriebene Anordnung eine einwandfreie Bestimmung der zur Messung benutzten Spannung gestattet. Eine dritte Fehlerquelle bilden schließlich Ungenauigkeiten in den Dimensionen des zur Messung benutzten Kondensators.

Dieser besteht bei meinen Versuchen im wesentlichen aus zwei durch Plättchen aus isolierendem Material getrennten, langen, möglichst ebenen Metallplatten, zwischen denen sich die zu untersuchende Flüssigkeit befindet. Die Länge der Platten, sowie die Dicke der trennenden Plättchen kann ohne Schwierigkeit mit großer Genauigkeit bestimmt werden. Da aber die elektrische Doppelbrechung bei Anwendung von gut meßbaren Spannungen für CS_2 nur sehr klein ist, wurden bisher die Plattenabstände sehr klein gehalten, um einen möglichst großen optischen Effekt zu erzielen. Die relative Genauigkeit der einzelnen Messungen unter sich wurde zwar auf diese Weise größer, die absolute Genauigkeit aber geringer, da die Unebenheiten und Ungenauigkeiten der Kondensatorplatten in einer gänzlich unkontrollierbaren Weise in das Endresultat eingingen. Um diese Ungenauigkeiten möglichst zu eliminieren, habe ich bei meinen Messungen die Plattenabstände nicht so übermäßig klein gehalten.

Hierdurch wird natürlich der Gesamteffekt kleiner und ich habe mich deshalb bemüht, die Empfindlichkeit der optischen Anordnung soweit als möglich zu steigern.

Die Messungen der Kerrkonstante für Schwefelkohlenstoff wurden bei verschiedenen Wellenlängen ausgeführt, um die von Havelock[1]) aufgestellte Theorie

[1]) Th. H. Havelock, Proc. Royal Soc. Vol. 80 p. 28. 1901. Phys. Rev. Vol. 26 p. 136. 1909.

der elektrischen Doppelbrechung zu prüfen. Havelock hat als Folgerung seiner Theorie folgende Beziehung zwischen dem Brechungskoefficienten und der Kerrkonstante aufgestellt.

$$C = \frac{B\lambda \cdot n_o}{(n_o^2-1)^2} \quad , \quad \text{B bedeutet}$$

hierin die Kerrkonstante, λ die entsprechende Wellenlänge, n_o den Brechungskoefficienten und C die für die betreffende Substanz charakteristische Konstante, die von der Wellenlänge unabhängig ist. Mac Comb[1]) hat für eine Anzahl von Flüssigkeiten diese Formel bestätigen können und auch mir schien es, als ich meine Untersuchungen begann, besonders wünschenswert, den Gültigkeitsbereich dieser Formel festzustellen, weil ich glaubte, hierdurch ein Urteil über die aufgestellten Theorien gewinnen zu können. Inzwischen hat diese Formel und ihre Prüfung an Interesse verloren, da kürzlich Enderle[2]) nachgewiesen hat, daß die Formel von Havelock nicht notwendig an die Havelock'sche Hypothese von den anisotropen Molekülen geknüpft ist. Unter der Annahme, daß das Molekül nur eine einzige Elektronenart enthält, läßt sich diese Formel sowohl aus der Theorie von Langevin wie von Voigt ableiten. —

Im zweiten Teil meiner Arbeit habe ich mir dann die Aufgabe gestellt, nach einer relativen Methode, die noch näher beschrieben werden soll, die Dispersion der elektrischen Doppelbrechung für mehrere Flüssigkeiten zu bestimmen und zwar für Substanzen mit sehr großer und kleiner, mit positiver und negativer Kerrkonstante.

---

[1]) H. E. Mac Comb. Phys. Rev. 29 p. 525, 1909.

[2]) Enderle, Zur Theorie der elektr. und magnet. Doppelbrechung von Flüssigkeiten. Dissertation Freiburg i. B. 1912. p. 44.

Optische Versuchsanordnung.

Der Aufbau der Apparatur für die absolute Messung ist aus Fig. 1 ersichtlich.

Mittels der Linse L_1 (f = 10 cm) wird das Bild der Lichtquelle B, die noch näher beschrieben werden soll, auf den Spalt Sp_1 projiziert. Von diesem entwirft Linse L_2 (f = 25 cm) ein Bild in der Ebene von Spalt Sp_2, nachdem das Licht durch das geradsichtige Prisma Pr spektral zerlegt worden war. Durch seitliches Verschieben von L_2 kann jede beliebige Farbe des Spektrums auf den Spalt Sp_2 geworfen werden. Linse L_3 (f = 20 cm) entwirft ein Bild von Sp_2 in der Ebene vom Halbschattensystem H.

Der aus L_3 nahezu parallel austretende Lichtstrahl durchsetzt der Reihe nach den Spalt Sp_3, den Polarisator P, der in einer mit Teilkreis versehenen Fassung drehbar angeordnet ist, den mit Schwefelkohlenstoff gefüllten Meßkondensator M, den Kompensator C, das Halbschattensystem H und den Analysator A. um dann durch die als Lupe zur Beobachtung des Halbschattensystems dienende Linse L_4 (f = 7 cm) in das Auge zu gelangen. Die Spalte Sp_2 und Sp_3 haben den Zweck, den Querschnitt des Lichtstrahls so zu begrenzen, daß er zwischen den Platten des Meßkondensators hindurchgeht, ohne sie zu streifen. Die beiden gekreuzten Nikols sind so orientiert, daß ihre Schwingungsebenen mit den Kondensatorflächen einen Winkel von 45° bilden. Um die im CS_2 auftretende Doppelbrechung zu messen resp. zu kompensieren, verwandte ich einen nach Angaben von Professor Koenigsberger[1]) von Fueß in Steglitz hergestellten verbesserten Quarzkeilkompensator, der sorgfältig geeicht wurde.

Bekanntlich besteht dieser Kompensator im wesentlichen aus zwei Quarzkeilen vom gleichen Keilwinkel.

[1]) Koenigsberger Zentralblatt f. Mineralogie p. 729. 1908.

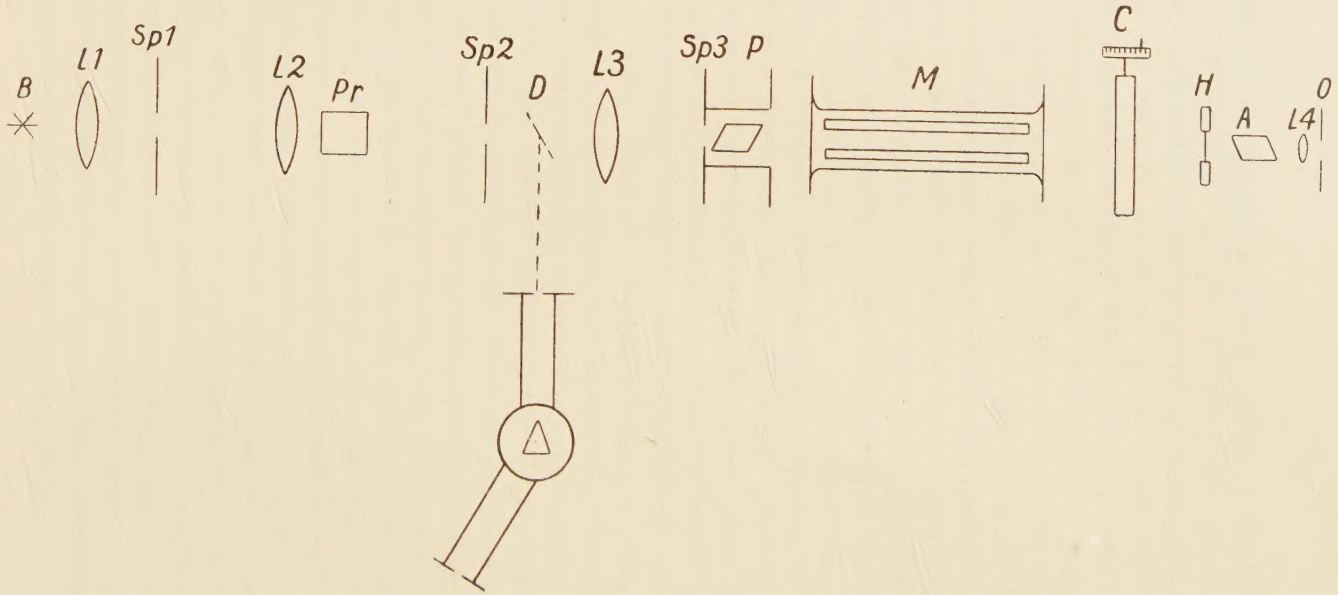


Fig. 1.

Die Schneiden sind einander parallel. Der längere Keil ist in seiner Längsrichtung mittels einer Mikrometerschraube verschiebbar, deren Drehung an einer Trommel mit Teilung abgelesen wird. Beide Keile zusammen wirken dann wie eine Kristallplatte von veränderlicher Dicke, mit der man Gangunterschiede herstellen oder kompensieren kann. Bei dem von mir benutzten Kompensator entsprachen bei Anwendung von Natriumlicht 2645 Skalenteile 1 λ Gangunterschied. Bedingung für die Stetigkeit des verschiebbaren Keils ist es, daß ein bestimmter Gangunterschied in den verschiedenen Teilen des Keils stets derselben Anzahl von Skalenteilen entspricht. Die Eichung des Kompensators wurde nach folgender Methode durchgeführt. Zunächst wurde die Nullage des Kompensators bestimmt, d. h. diejenige Lage, in der der Kompensator das Licht überhaupt nicht beeinflußt. Ein Glimmerblatt von zirka $^1/_{10}$ λ Gangunterschied wurde dann in den Lichtweg gebracht und am Kompensator die Anzahl Skalenteile festgestellt, die zum Kompensieren dieses Gangunterschiedes nötig waren. Nach Entfernung dieses Glimmerblattes wurde ein zweites, dickeres Glimmerblatt vorgeschaltet und kompensiert und dadurch die Nullage des Kompensators verschoben. In dieser Stellung wurde das erste Glimmerblatt wieder in den Lichtweg gebracht und kompensiert. Das Glimmerblatt war zu diesem Zwecke auf einer Führung verschiebbar angebracht, so daß man es entfernen und an genau dieselbe Stelle wieder bringen konnte.

Dies Verfahren wurde so lange fortgesetzt, bis durch Vorschalten von immer größeren Gangunterschieden Glimmerblatt I in dem ganzen Meßbereich des Kompensator kompensiert worden war. Der Kompensator erwies sich als ganz vorzüglich, da der Gangunterschied von Glimmerblatt I innerhalb der Versuchsfehler, die ca. 3‰ betrugen, in den verschiedenen Teilen des Keiles immer derselben Anzahl von Skalenteilen ent-

sprach. Herr Professor Koenigsberger war so freundlich, mir bei dieser Arbeit zu helfen. Um möglichst scharf kompensieren zu können, benutzte ich neben ausgezeichneten Nikol'schen Prismen, die eine sehr vollständige Verdunkelung ergaben, das von Leiser[1]) angegebene Halbschattensystem.

Es besteht aus zwei spannungsfreien Glasstreifen von ca. 0,01 cm Dicke. Durch eine Schraube können dieselben gedehnt und dadurch schwach doppelbrechend gemacht werden. Der eine Streifen liegt horizontal und erfüllt das ganze Gesichtsfeld. Der andere Streifen steht senkrecht zum ersten und bedeckt nur die eine Hälfte des Gesichtsfeldes. Dieser wird soweit gespannt, daß der von ihm herrührende Gangunterschied, der dem des anderen Glasstreifens entgegengesetzt ist, doppelt so groß als dieser wird. Dann erscheinen beide Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell, denn sie haben nun den gleichen aber entgegengesetzten Gangunterschied. In der einen Hälfte ist das Licht rechts, in der anderen links elliptisch polarisiert. Mit diesem Halbschattensystem kann man noch Gangunterschiede von etwa $3 \cdot 10^{-5}\ \lambda$ sicher nachweisen. Allerdings ist zur Erreichung einer derartigen Empfindlichkeit eine sehr intensive Lichtquelle erforderlich.

Für die grüne und gelbe Hg-Linie reichte eine Quecksilberlampe von Heraeus aus, für andere Wellenlängen war sie für die angestrebte Genauigkeit zu lichtschwach. Da die Doppelbrechung von Schwefelkohlenstoff stark von der Wellenlänge des verwandten Lichtes abhängt, und infolgedessen das Kompensieren sich umso schärfer gestaltet, je homogener das Licht ist, verwandte ich Bogenlicht, dessen vertikale Kohlen mit Metallsalzen imprägniert waren.

Zum imprägnieren der angebohrten Kohlen wurde

[1]) R. Leiser: Elektr. Doppelbrechung der Kohlenstoffverbindungen. Habilitationsschrift, Karlsruhe 1910. p. 14.

Lithiumcarbonat und Cadmiumchlorid verwandt, die ein ziemlich gleichmäßig über das sichtbare Spektrum verteiltes Linienspektrum geben und dabei nur langsam im elektrischen Bogen verdampfen. Um das sehr störende Flackern dieser Effektkohlen zu beseitigen, brannte der Bogen in einer Röhre von hitzebeständigem Material. Es ist schwer, eine Substanz zu finden, die genügend lange der Hitze des elektrischen Bogens widersteht. Nach langem Experimentieren erst fand ich ein geeignetes

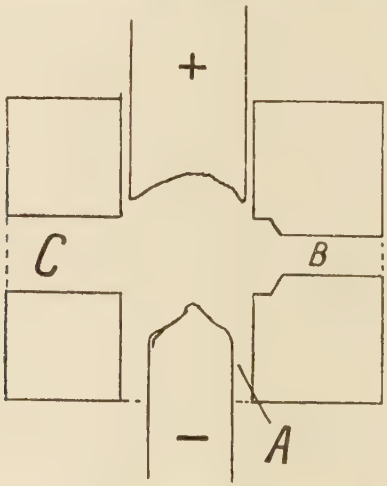


Fig. 2.

Material im Kalkstein, der sich zudem noch vorzüglich bearbeiten läßt. Die Form dieses Luftschutzes ist aus Fig. 2 zu ersehen. In einem ca. 7 cm langen Würfel von 4 × 5 cm Kantenlänge war ein Loch A vom Durchmesser der dickeren Kohle gebohrt. Eine 0,6 cm weite Bohrung B diente zum Lichtaustritt, wobei sie gleichzeitig das direkte Licht der Kohlenenden abblendete. Der Kalkstein wird im Betrieb innen weißglühend; um daher das von der Rückseite des Kanals herrührende weiße Licht zu beseitigen, war dort eine dritte weite Bohrung C angebracht, durch die man auch den Bogen

beobachten konnte. Diese Anordnung hat sich vorzüglich bewährt, da praktisch nur das Licht des Bogens nach außen gelangt, außerdem ist ein Springen des Bogens nicht störend, da die Blende B im Verhältnis zur Bogengröße nur klein ist. Bei kleiner Belastung brennt der Bogen oft eine halbe Stunde ruhig und gleichmäßig weiter, ohne daß die Kohlen nachreguliert werden müssen. Diese Kalksteinwürfel halten einen Dauerbetrieb von ca. 5 Stunden aus.

Die Wellenlänge des durch den Spalt Sp_2 (p. 9) durchgegangenen und zur Messung benutzten Lichtes wurde mit Hilfe eines großen Steinheil'schen Spektralapparats bestimmt, in den das Licht vermittels eines bei D nach Bedarf aufgestellten Spiegels gelangen konnte. Die Skala dieses Spektralapparates war vermittels einer Reihe von bekannten und gut definierten Linien in der üblichen Weise geeicht worden und gestattete die Identität der einzelnen, an sich ja aus dem Spektrum des Hg, Li, Na, Cd und Pb, bekannten Linien festzustellen. Die genauen Wellenlängen wurden dem Atlas der Emissionsspektren von Hagenbach und Konen entnommen.

Der Meßkondensator bestand aus einem ca. 5,7 cm weiten und 53 cm langen Glasrohr mit wulstförmigen plangeschliffenen Enden, dessen Form Fig. 3 zeigt. Die 50 cm langen und 4,5 cm breiten und 0,8 cm dicken Kondensatorplatten, die sorgfältig aufeinander geschliffen waren, bestanden aus Reinnickel. Sie wurden durch vier 0,304 cm dicke Quarzplättchen Q getrennt, die mit einem Sphärometer ausgemessen worden waren. Die eine Kondensatorplatte hatte zwei Federn F, die andere zwei

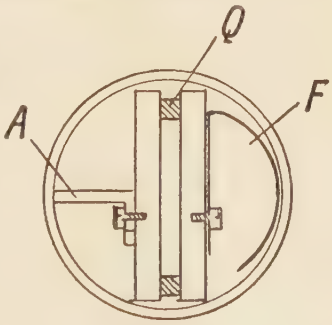


Fig. 3.

Anschläge A, durch die die Platten im Glasrohr in der richtigen Lage gehalten wurden. An die Platten angelötete Drähte, die durch seitlich angeblasene mit Quecksilber gefüllte U-Röhren führten, vermittelten den Kontakt nach außen. Für die Berechnung der Messungen wurde noch die Wirkung des Randfeldes nach einer von Lemoine[1]) aufgestellten Formel berücksichtigt. Das Randfeld wirkt wie eine Verlängerung der Kondensatorplatten um

$$\frac{a}{\pi} - \frac{a^2}{\pi^2 l} \log \text{nat} \frac{\pi l}{a} \text{ cm.}$$

a bedeutet hierin den Abstand der Platten, l deren Länge. Die Korrektur betrug bei den angegebenen Dimensionen des Apparates 0,095 cm. Zwei aufgekittete spannungsfreie planparallele Glasplatten schlossen das Rohr ab. Zum Kitten benutzte ich die von Tauern[2]) angegebene Rollermasse. Dies ist eine elastische Gallertmasse, die beim Erhitzen auf ca. 100° flüssig wird und beim Abkühlen erstarrt, wobei sie jedoch plastisch bleibt und keine Spannungen in der Kittstelle entstehen läßt. Sie ist nur in Wasser löslich und widersteht dem Einfluß von Alkohol, Öl, Äther und Schwefelkohlenstoff.

Zum Einfüllen und Ablassen der Flüssigkeit war an dem Rohr oben ein Trichter, und unten ein Hahn angeblasen.

Zum Aufladen des Schwefelkohlenstoffs bediente ich mich einer Klingelfuess'schen Hochspannungsakkumulatorenbatterie, deren ca. 7000 Volt betragende Spannung in der Weise gemessen wurde, daß die Spannungsmessung auf eine Strommessung zurückgeführt wurde. Die Batterie, deren einer Pol geerdet war, wurde durch einen 1.10^6 Ω großen Drahtwiderstand geschlossen. Der hier-

[1]) J. Lemoine. Compt. rend 122 p. 835 (1896).

[2]) Tauern. Über das Auftreten etc., p. 36. Dissertation, Freiburg i. B. 1909.

bei durch den Widerstand fließende Strom wurde mit einem Präzisions-Ampèremeter von Siemens und Halske gemessen. Da e = iw ist, war hiermit die Spannung, die zwischen den beiden Enden des Widerstandes herrschte, bestimmt. Die eine Kondensatorplatte des Meßtrogs war geerdet, die andere konnte an jede beliebige Stelle des Gefällwiderstandes angeschlossen werden, so daß ich das Potential des Kondensators in weiten Grenzen verändern konnte.

Messungen.

Um den Einfluß zu untersuchen, den geringe chemische Verunreinigungen auf die Kerrkonstante von Schwefelkohlenstoff ausüben, wurde der Meßtrog nacheinander mit lange, gebrauchtem gelblichem CS_2, dann mit wasserklarem, frischem, von Kahlbaum als chemisch rein bezogenem Schwefelkohlenstoff gefüllt. Als Mittel aus je 10 Messungen fand ich für die grüne Hg-Linie

$B = 3{,}56 \cdot 10^{-7}$ für den alten, gelben CS_2

$B = 3{,}55 \cdot 10^{-7}$ für den neuen, weißen CS_2.

In Übereinstimmung mit Schmidt und Tauern zeigen also diese sehr verschiedenen Proben von Flüssigkeit innerhalb der Versuchsfehler, die ca. 4‰ betrugen, dasselbe elektrooptische Verhalten. Allerdings dürfen diese Verunreinigungen nie so stark werden, daß der Schwefelkohlenstoff, wenn auch in geringem Maße, leitend wird. Sobald nämlich im CS_2 auch nur ein geringer Elektrizitätstransport stattfindet, was schon optisch an einer Schlierenbildung wahrgenommen werden kann, tritt eine namhafte Beeinflussung der Kerrkonstante ein. Diese Beeinflussung kann mehrere Prozent betragen. Aus diesem Grunde ist CS_2 elektrooptisch sehr empfindlich gegen physikalische Verunreinigungen, also vor allen Staubteilchen, die bei Anlagen einer Spannung an die Kondensatorplatten in lebhaft wirbelnde Bewegung geraten und hierdurch Schlieren verursachen, die oft sogar

ein Beobachten unmöglich machen. Ich habe deshalb den von Kahlbaum als chemisch rein bezogenen CS_2 nicht weiter chemisch zu behandeln versucht, dagegen besondere Sorgfalt auf die Entstaubung der zur Messung benutzten Flüssigkeiten verwendet, die folgenderweise behandelt wurde. Nachdem der Trog nach gründlicher Reinigung möglichst sorgfältig zusammengebaut worden war, wurde Schwefelkohlenstoff durch ein im Trichter angebrachtes, ausgewaschenes analytisches Filter in die Meßzelle filtriert, ohne weiter mit der Laboratoriumsluft in Berührung zu kommen. Hierauf wurde der Kondensator an die Stadtleitung von 220 Volt Spannung angeschlossen.

Staubteilchen, die noch in der Zelle vorhanden waren, geraten durch elektrostatische Abstoßung in Bewegung und sinken allmählich auf den Boden, und werden dann beim Entleeren des Kondensators mitgerissen. Diese Manipulation wurde solange fortgesetzt, bis beim Anlegen einer Spannung von ca. 7000 Volt keine Spur von Schlieren mehr zu beobachten war. Dann erst wurde der zur Messung zu benutzende CS_2 in die Zelle filtriert. Der Meßkondensator wurde hierauf in den Lichtweg gebracht und so justiert, daß der Lichtstrahl nirgendswo die vertikal stehenden Platten streifte. Die Polarisationsebene des Lichtstrahls, die mit den Kondensatorflächen einen Winkel von 45^0 bilden soll, wurde folgendermaßen festgelegt. Der Polarisator wurde solange gedreht, bis das Anlegen einer Spannung an den Kondensator keine Doppelbrechung mehr verursachte, d. h. daß die Polarisationsebene parallel den Kraftlinien des elektrischen Feldes war. Hierauf wurde der Polarisator um 45^0 gedreht.

Der Gang einer Messung war kurz folgender: Nach Zünden der Bogenlampe wurde zunächst Licht von bestimmter Wellenlänge auf Spalt Sp_2 (Fig. 1) projiciert. Dann wurde die Spannungsquelle an den CS_2 Konden-

sator gelegt und die Doppelbrechung mit dem Kompensator gemessen. Gleichzeitig wurde das Ampèremeter von Siemens und Halske abgelesen und die Temperatur des CS_2 bestimmt, die bei den Versuchen möglichst auf 20^0 gehalten wurde und in der Regel zwischen 19^0 und 21^0 lag. Die Messungen wurden dann noch auf 20^0 reduziert nach einer von Leiser[1]) angegebenen Temperaturkorrektionstabelle. Diese Korrektur betrug nur wenige ‰. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Messungen. Die einzelnen Resultate sind Mittelwerte aus je 15 Messungen.

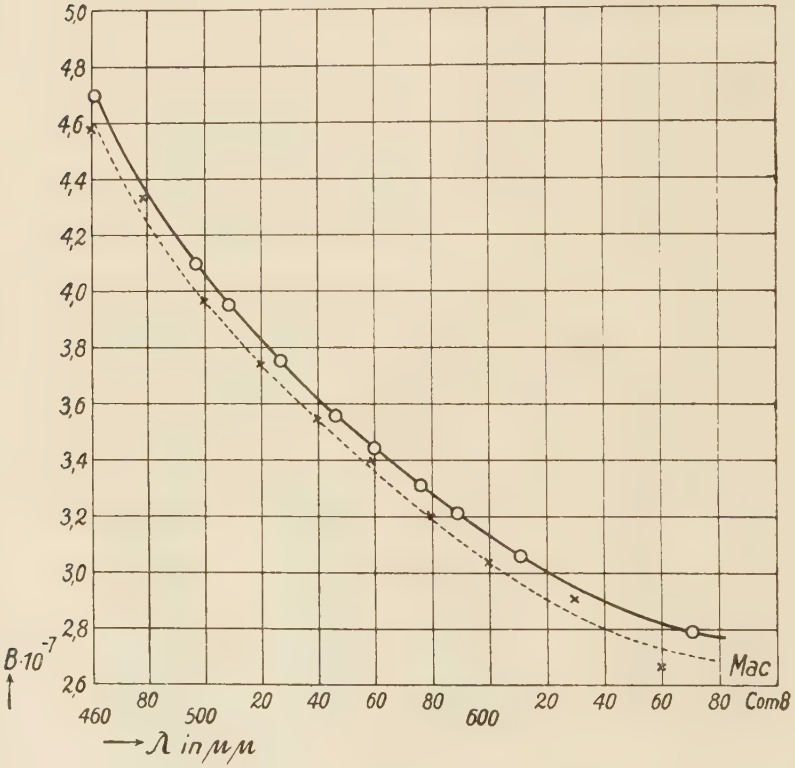
Wellenlänge in $\mu\mu$	B gemessen (20^0)	n Brechungscoefficient	B berechnet (C 1,134 . 10 ^{11})	$C = \frac{B \lambda n}{(n^2-1)^2}$
460,2	$4{,}69 \cdot 10^{-7}$	1,6618	4,60	$1{,}162 \cdot 10^{-11}$
497,2	4,10	1,6488	4,09	1,137
508,6	3,95	1,6455	3,95	1,135
527	3,76	1,6405	3,75	1,136
546,1	3,55	1,6360	3,57	1,129
560,8	3,44	1,6330	3,44	1,133
577/579	3,31	1,6298	3,31	1,134
589	3,21	1,6276	3,23	1,128
610,4	3,05	1,6243	3,07	1,125
670,8	2,79	1,6168	2,73	1,160

Tab. 1. Schwefelkohlenstoff.

Das Potential, auf das der Meßkondensator aufgeladen wurde, konnte auf 2 ‰ genau gemessen werden. Wegen des quadratischen Einflusses auf die Konstante B, macht dies einen möglichen Fehler von 4 ‰ aus. Der mögliche Fehler in der Bestimmung des Gangunterschiedes betrug 3 ‰, so daß sich der mittlere Be-

[1]) R. Leiser, Elektrische Doppelbrechung der Kohlenstoffverbindungen. Habilitationsschrift, Karlsruhe, 1910. p. 61.

obachtungsfehler auf ca. ± 4‰ stellt. Die einzelnen Messungen zeigten auch ungefähr derartige Abweichungen



Kurve 1.

vom Mittelwert, wie die folgende Zusammenstellung einer Meßreihe für die gelbe Hg-Linie zeigt.

B · 10^{-7} =	3,322	3,326	**3,329**
	3,303	3,310	3,316
für Hg gelb	3,310	3,310	**3,303**
	3,312	3,316	3,305
	3,314	3,320	3,314

Die größten Abweichungen vom Mittelwert B = 3,314 · 10^{-7} zeigen die äußersten Werte 3,329 und 3,303

mit + 4‰ und — 3‰. Im Grün zeigten die einzelnen Messungen noch geringere Abweichungen vom Mittelwert.

Die Werte n des Brechungskoefficienten für CS_2 (3. Vertikalreihe der Tabelle 1) wurden aus einer Kurve interpoliert, die nach Werten gezeichnet war, die in den phys.-chem. Tabellen von Landolt und Börnstein angegeben sind. In der vierten Vertikalreihe der Tabelle 1 sind die Werte B zusammengefaßt, die aus der Havelockschen[1]) Formel $C = \frac{B \lambda n_0}{(n_0^2-1)^2}$ berechnet wurden, in der für C der Mittelwert $C = 1{,}134 \cdot 10^{-11}$ und die der Wellenlänge λ entsprechenden Werte n_0 des Brechungskoefficienten eingesetzt wurden.

Die beobachteten und berechneten Werte der Konstante B stimmen mit Ausnahme der äußersten Werte im Rot und Blau überraschend gut überein. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß den Messungen für diese äußersten Werte nicht dieselbe Genauigkeit zugesprochen werden darf, wie den übrigen Messungen, da die Kompensierung des Gangunterschiedes im Rot wegen der geringeren Kontraste des Halbschattensystems, im Blau wegen Lichtmangels sehr erschwert war. Andererseits läßt der Verlauf der Kurve die von der Havelockschen Theorie geforderten Werte unwahrscheinlich erscheinen.

Vergleicht man die von mir erhaltenen Werte mit den auf pag. 4 angegebenen Werten früherer Beobachter, so findet man eine sehr gute Übereinstimmung mit Mac Comb[2]), dessen Resultate die punktierte Kurve auf pag. 18 wiedergibt, nachdem die auf pag. 5 für 23,5° angegebenen Werte nach der Temperaturkorrektionstabelle von Leiser auf 20° reduziert worden waren.

[1]) T. H. Havelock. Proc. Royal Soc. Vol 80, p. 28. 1907, Phys. Rev. Vol. 28, p. 136. 1909.

[2]) H E. Mac Comb, Phys. Rev. 29 p. 525, 1909.

Die beiden Kurven verlaufen parallel, wenn wir von der geringeren Meßgenauigkeit dieses Beobachters absehen, dessen Werte sich nur schlecht einer Kurve anpassen. Man muß diesen Resultaten Mac Combs vor allem deshalb größeres Gewicht beilegen, als denen früherer Beobachter, da Mac Comb als erster seinen Messungen eine exaktere Potentialbestimmung zugrunde legte.

Die geringen Abweichungen zwischen meinen und Mac Combs Werten lassen sich zwanglos erklären, da Mac Comb mit einem Kondensator von nur 0,175 cm Plattenabstand gearbeitet hat, also wesentlich kleinerem Abstand als bei meinen Messungen, bei dem deshalb die Plattenungenauigkeiten, wie auf pag. 6 beschrieben, die absolute Genauigkeit wesentlich herabdrücken und viel mehr ins Gewicht fallen als bei den von mir benutzten Dimensionen des Meßkondensators.

Es scheint demnach sehr wahrscheinlich, daß die geringe Übereinstimmung der Werte früherer Beobachter auf die nicht exakte Bestimmung der zur Messung benutzten Spannung zurückzuführen ist, da die vermittels exakter Potentialbestimmung gewonnenen Werte Mac Combs und des Verfassers ausgezeichnet übereinstimmen.

II. Teil.

Die Absolutbestimmungen der Kerrkonstante beschränken sich nur auf wenige gut isolierende Substanzen, da nur bei solchen ein genügend hohes exakt meßbares Potential aufrecht erhalten werden kann. Mac Comb[1]) gibt an, daß er auch für relativ besser leitende Flüssigkeiten absolute Messungen ausgeführt hat, doch war es mir gänzlich unmöglich nach dieser Methode, bei der die Aufladung der Flüssigkeitskondensatoren mit Gleich-

[1]) H. E. Mac Comb. Phys. Rev. 29 p. 525 folg. 1909.

strom erfolgen muß, Substanzen wie z. B. Nitrobenzol zu untersuchen, da die bei der Erregung des Feldes sofort einsetzenden Schlieren ein Beobachten unmöglich machen.

Des Coudres[1]) hat nun eine Methode angegeben, die gestattet, die Messung der Kerrkonstante auch für gut leitende Substanzen auszuführen.

Das Prinzip dieser relativen Methode ist kurz folgendes. Ein Lichtstrahl durchsetzt nacheinander zwei Flüssigkeitskondensatoren, die an derselben Spannungsquelle liegen derart, daß der von der unbekannten Substanz im ersten Kondensator herrührende Gangunterschied in dem zweiten, mit einer bekannten Normalsubstanz gefüllten Kondensator, dessen Plattenabstand verändert werden kann, gerade kompensiert wird. Das Kompensieren geschieht in der Weise, daß im Vergleichskondensator der Plattenabstand so lange geändert wird, bis die entgegengesetzten Gangunterschiede der beiden Kondensatoren einander gleich werden. Da die Kompensation, wenn sie für eine Potentialdifferenz erreicht ist, für jede Potentialdifferenz bestehen bleibt, braucht die Spannung nicht bekannt zu sein. Da außerdem die elektrische Doppelbrechung von der Feldrichtung unabhängig ist und den Änderungen des Feldes ungemein rasch folgt[2]), gestattet diese Methode die Anwendung von Wechselfeldern für die Untersuchung von besser leitenden Substanzen, bei denen bei Benutzung von oscillierenden Feldern die Schlierenbildung wesentlich geringer wird.

Der Gangunterschied, der von der unbekannten Substanz herrührt, ist:

$$d_1 = \frac{B_1 l_1 P^2}{a_1^2} \quad \ldots (1)$$

[1]) Th. Des Coudres. Verhandl. d. Ges. Deutsch. Naturforscher u. Aerzte 65. Vers. Nürnberg, II. Teil p. 67 (1893).

[2]) Abraham u. Lemoine. Compt. Rend XXIX, p. 206 1899.

der Gangunterschied in der Kompensatorzelle ist anderseits:

$$do = \frac{B_0 \, l_0 \, P^2}{{a_0}^2} \quad \ldots \quad (2)$$

im Falle der Gleichheit ist also:

$$\frac{B_1}{B_0} = \frac{l_0 \, {a_1}^2}{l_1 \, {a_0}^2} \quad \ldots \quad (3)$$

da alle Größen auf der rechten Seite von (3) bekannt sind, kann $\frac{B_1}{B_0}$ berechnet werden.

Ein Nachteil dieser Methode liegt in der Tatsache, daß bei Verwendung von CS_2 als Normalsubstanz oder ähnlichen isolierenden gut definierten Flüssigkeiten, die alle einen kleinen elektrooptischen Effekt zeigen, die Plattenabstände der Kompensatorzelle sehr klein gehalten werden müssen, damit beim Variieren der Kompensatorplattenabstände der optische Effekt möglichst groß wird. Bei einem Plattenabstande von 2 mm würde ein Abstandsfehler von $^1/_{100}$ mm wegen der quadratischen Abhängigkeit schon 1% Fehlerquelle ausmachen.

Ich habe deshalb eine Kompensationsmethode benutzt, bei der das Kompensieren auf einem anderen Wege erreicht wird, und die diese Schwierigkeit beseitigt.

Die elektrische Doppelbrechung nimmt bei gleichbleibendem Felde von einem maximalen Wert, wenn die Polarisationsebene des Lichts mit den Kraftlinien des Feldes einen Winkel von 45° bildet, bis zum Wert 0 ab, wenn die Kraftlinien der Polarisationsebene parallel werden. Da die ganze maximale Doppelbrechung nur klein ist, lag der Gedanke nahe, diese Erscheinung zu einer Kompensationsmethode zu verwenden nach einem Prinzip, das dem von Brace[1]) angegebenen Glimmerkompensator ähnlich ist. — Der Lichtstrahl durchsetzt nacheinander einen mit der zu messenden Substanz gefüllten Kondensator, dessen Platten unter 45° zur Polarisationsebene

[1]) D. B. Brace. Phys. Rev. 18 p. 70 (1904).

orientiert sind, dann einen mit CS_2 gefüllten Kondensator, der um eine dem Lichtstrahl parallele Achse drehbar angeordnet ist, wobei beide Kondensatoren an derselben Spannungsquelle liegen. Der CS_2 Drehkondensator ist derart dimensioniert, daß seine maximale Doppelbrechung größer als die des Meßkondensators ist. Muß nun der Drehkondensator um einen Winkel α gedreht werden, wobei α den Winkel zwischen der Polarisations- und der Plattenebene bedeutet, um den entgegengesetzten Gangunterschied des ersten Kondensators zu kompensieren, so ist dieser gleich dem maximalen Gangunterschied des Drehkondensators mal einer Funktion des Winkels α, wobei f (α) je nach Stellung des Kompensators zwischen den Werten 1 und 0 liegt. Der Gangunterschied der von der ersten Zelle herrührt, ist:

$$d_1 = \frac{B_1 l_1 P^2}{a_1^2} \quad \ldots \quad (1)$$

Der Gangunterschied in der Kompensatorzelle ist andererseits

$$d_0 = \frac{B_0 l_0 P^2}{a_0^2} \cdot f(\alpha) \quad \ldots \quad (2)$$

Im Falle der Gleichheit ist also

$$\frac{B_1}{B_0} = \frac{l_0 a_1^2}{a_0^2 l_1} \cdot f(\alpha) \quad \ldots \quad (3)$$

Da alle Größen auf der rechten Seite von (3) bekannt sind, kann das Verhältnis $\frac{B_1}{B_0}$ berechnet werden.

Auch bei dieser Meßmethode braucht die verwendete Spannung nicht bekannt zu sein, da beide Zellen an derselben Spannungsquelle liegen, deren Schwankungen in beiden Kondensatoren genau synchron erfolgen.

Da die Vorversuche günstig ausfielen, konstruierte ich folgenden Drehkondensator, dessen Form Fig. 4 u. 5 zeigt.

Die eigentliche Zelle Z war ganz ähnlich dem zu der absoluten Messung verwandten Kondensator, nur waren die Dimensionen kleiner gehalten. In einem ca. 3,7 cm weiten Glasrohr (Fig. 4 von vorne gesehen) stan-

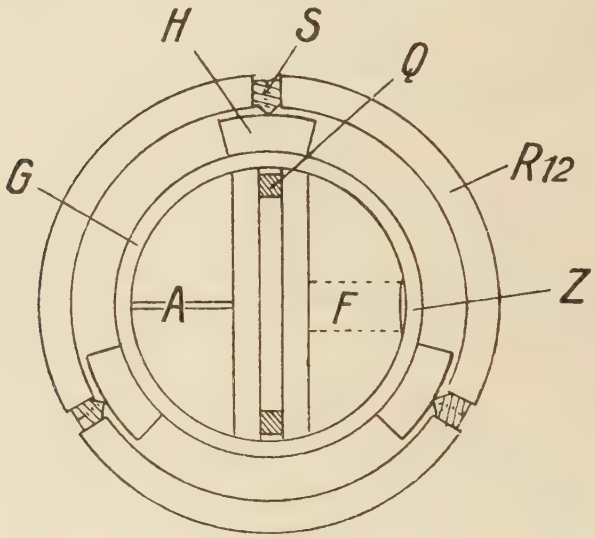


Fig. 4.

den die sorgfältig aufeinander geschliffenen vergoldeten Messingplatten von $20 \times 3{,}5 \times 0{,}3$ cm, die durch 4 je 0,304 cm dicke Quarzplättchen Q getrennt wurden. An der einen Platte waren Blattfeldern F angebracht an der andern Anschläge A, durch die die Platten, gleichweit von der Achse des Glasrohrs entfernt, fixiert wurden. An die Platten angeschraubte Drähte, die durch seitlich angeblasene Röhren führten, vermittelten den Kontakt nach außen.

Nahe den Enden der Kompensatorzelle waren zwei Messingringe R_1 und R_2 angebracht, die als Lager dienten. Diese abgedrehten Messingringe von einem innen um 12 mm weiteren Durchmesser als die Zelle, konnten vermittels je 6 Schrauben S unter Zwischenschaltung von

ca. 5 mm dicken Hartgummistücken H die Kompensatorzelle packen. Die 12 Schrauben wurden so lange justiert, bis die Ringachse mit der Achse der Kompensatorzelle

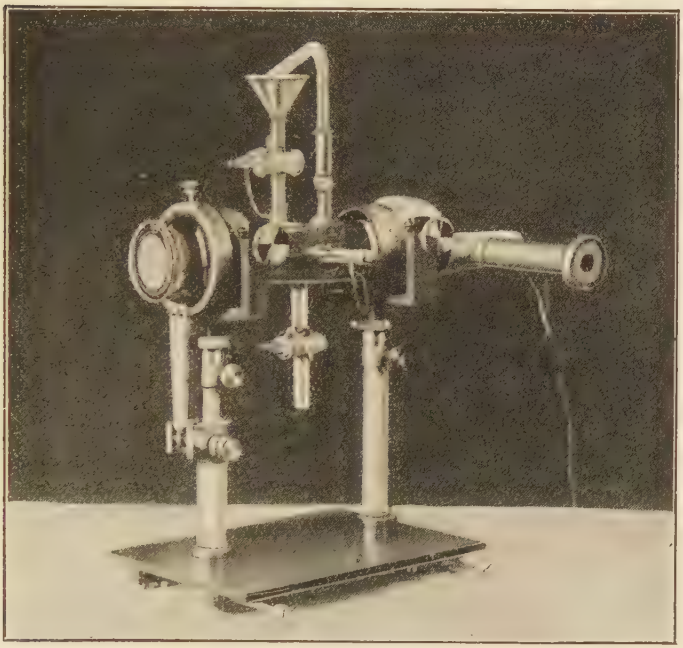


Fig. 5.

zusammenfiel. Dieses System konnte auf einem Stativ vermittels Schrauben, die zugleich als Lagerschalen dienten, nach jeder Richtung hin verstellt und fixiert werden. Auf dem einen Ring R_1 war ein schwenkbarer Hebelarm angebracht, mit dem vermittels einer Mikrometerschraube die Kompensatorzelle gedreht werden konnte. Um die Winkel, um welche die Kompensatorzelle gedreht wurde, möglichst genau messen zu können, bediente ich mich folgender objektiven Lichtzeigeranordnung (s. Fig. 6).

Auf dem Ring R_2 war eine kleine Glühlampe F

mit horizontalem geradem Leuchtfaden angebracht. Eine Linse L (f = 10 cm) entwarf ein scharfes Bild des durch Blende B herausgeblendeten Leuchtfadens in der Ebene der gebogenen Skala Sk, die eine Millimeterteilung hatte. Skala Sk bildete ein Segment eines Kreises von 114,5 cm Radius, dessen Mittelpunkt mit der Achse der Kompensatorzelle zusammenfiel. Ein Grad Drehung der Zelle entsprach einem 2 cm langen Wandern des Lichtzeigers auf der Skala. Da der leuchtende Strich auf $^1/_4$ mm genau abgelesen werden konnte, konnte mit dieser An-

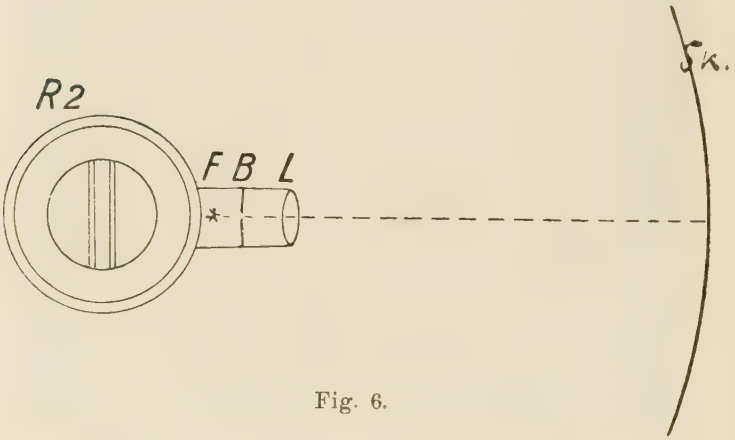


Fig. 6.

ordnung noch 1 Minute Drehung der Kompensatorzelle bequem abgelesen werden.

Als Meßzelle I verwendete ich einen Kondensator, der genau so konstruiert war, wie der Drehkompensator. Nur waren die vergoldeten Messingplatten durch 4 je 0,415 cm dicke Glasstücke getrennt.

Die einzige Änderung an der optischen Anordnung (Fig. 1) bestand darin, daß der vertikale Spalt Sp_2 durch einen Kreuzspalt ersetzt wurde, der eine Begrenzung des Lichtstrahls auch in horizontaler Richtung gestattete. Diese Anordnung ist nötig, damit der Lichtstrahl den Drehkompensator durchsetzt ohne dessen Platten zu streifen,

die beim Messen von Substanzen mit positiver Kerrkonstante meist mehr oder weniger horizontal stehen. Eine Blende B wurde schließlich noch zwischen Meßzelle und Drehkompensator angebracht, um störendes Licht vom Kompensator abzuhalten. Fig. 7 zeigt den neuen Teil der Apparatur.

Die Buchstaben entsprechen den auf Seite 8 im I. Teil beschriebenen Apparaten.

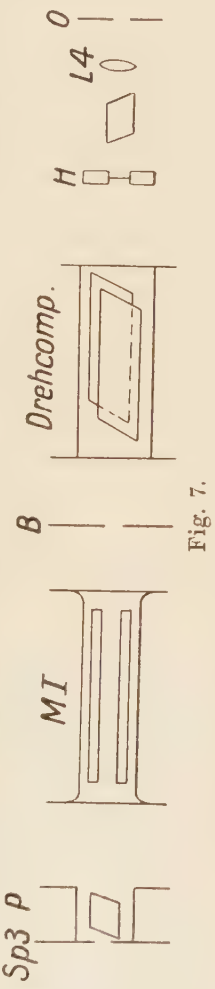


Fig. 7.

Zunächst galt es nun, den Kompensator zu eichen oder mit anderen Worten die Werte der Funktionen des Winkels α zu messsen (siehe p. 23). Diese Messungen erfolgten auf folgende Weise. Die sorgfältig gereinigte und mit entstaubtem Schwefelkohlenstoff gefüllte Meßzelle M I, deren vertikale Platten unter 45^0 zur Polarisationsebene des Lichtstrahls orientiert waren, und die ebenfalls mit CS_2 gefüllte Drehkompensatorzelle wurden in den Lichtweg gestellt, und so lange justiert, bis der Lichtstrahl durchging ohne die Platten zu streifen. Zum Aufladen dieser beiden Zellen bediente ich mich einer Klingelfuess'schen Hochspannungs-Akkumulatorenbatterie, deren einer Pol geerdet war. Die Schaltung war identisch mit der auf Seite 14 beschriebenen Anordnung.

Die Batterie wurde durch einen $1 \cdot 10^6$ Ω großen Widerstand geschlossen. Je eine Platte der beiden Zellen war geerdet. Die zweite Platte des Drehkompensators lag an der vollen Spannung, die zweite Platte

der Meßzelle M I wurde an verschiedene Stellen des Gefällwiderstandes angeschlossen, so daß das Potential der Zelle M I und der hierbei auftretende Gangunterschied in weiten Grenzen verändert werden konnte. — Durch Drehen der Kompensatorzelle wurde dann der in Zelle M I auftretende Gangunterschied kompensiert und der zugehörige Winkel α an der Skala abgelesen. Die Werte f (α) (Seite 23) wurden dann in folgender Weise berechnet. Der in der Zelle M I auftretende Gangunterschied ist:

$$d_1 = \frac{B\, l_1}{a_1^2} \cdot P_1^2 \quad \ldots \quad (1)$$

oder

$$d_1 = \frac{B\, l_1}{a_1^2} \cdot i^2\, w_1^2 \quad \ldots \quad (2)$$

der Gangunterschied in der Kompensatorzelle ist:

$$d_0 = \frac{B\, l_0}{a_0^2}\, i^2\, w_0^2 \cdot f(\alpha) \quad \ldots \quad (3)$$

Im Falle der Gleichheit also

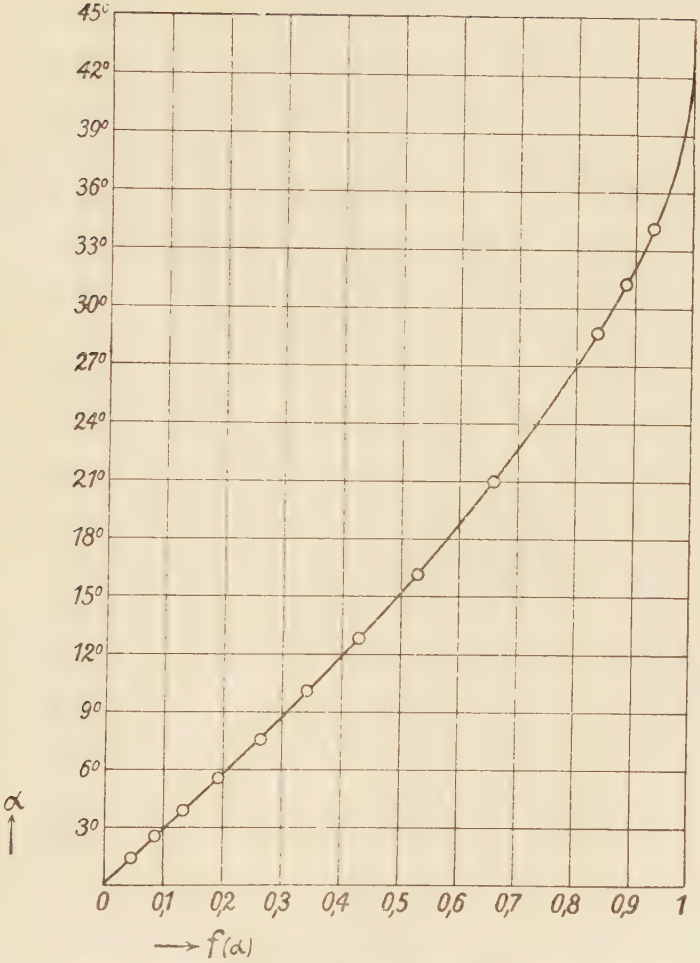
$$f(\alpha) = \left(\frac{l_1 \cdot a_0^2}{l_0 \cdot a_1^2}\right) \cdot \frac{w_1^2}{w_0^2} \quad \ldots \quad (4)$$

Der Ausdruck in den Klammern auf der rechten Seite von Gleichung (4) ist eine Konstante und soll Zellenfaktor heißen. Er betrug im vorliegenden Falle C = 0,5375.

Gleichung (4) reduziert sich also auf folgenden Ausdruck:

$$f(\alpha) = 0{,}5375\, \frac{w_1^2}{w_0^2} \quad \ldots \quad (5)$$

w_1 war der Gefällwiderstand der Meßzelle M I, w_0 war der Gefällwiderstand der Drehkompensatorzelle. Durch variieren von w_1 und w_0 wurden die Werte f (α) für verschiedene Winkel bestimmt, wobei jedes Resultat das Mittel aus je 15 Messungen darstellt. Die Werte f (α) wurden zu folgender Tabelle und Kurve zusammengefaßt.



Winkel	f (α)	Winkel	f (α)
1° 19′	0,0484	12° 41′	0,435
2° 27′	0,0860	15° 56′	0,538
3° 50′	0,1344	20° 53′	0,663
5° 29′	0,1935	28° 36′	0,840
7° 30′	0,2634	31° 10′	0,889
10°	0,344	34° 8′	0,930

Kurve 2 u. Tab. 2.

Diese Messungen hätten bei weißem Licht ausgeführt werden können, da ja Dispersionserscheinungen nicht beobachtet werden können, wenn beide Zellen mit Schwefelkohlenstoff gefüllt sind.

Ich führte aber die Eichung unter Benutzung von grünem Licht von ca. 560 $\mu\mu$ Wellenlänge aus, da meine Augen für diese Farbe am empfindlichsten waren. Die Drehung der Kompensatorzelle konnte mit dem bereits erwähnten Glasstreifenhalbschattensystem auf ca. 5 Minuten genau abgelesen werden. Die prozentuale Genauigkeit hängt dann nur noch von der gesamten Doppelbrechung ab. Bei einer Doppelbrechung der Kompensatorzelle, die ca. $f(\alpha) = 0{,}6$ entspricht, betrug die Genauigkeit dieser Eichmessungen ca. $3^0/_{00}$. Zum Messen der Substanzen, die eine ungefähr ebenso große Kerrkonstante besitzen wie CS_2, verwendete ich Meßzelle I, mit der auch die Eichung des Drehkompensators durchgeführt worden war. Für α-Monobromnaphtalin mußte Zelle I auseinandergenommen werden, und die Plattenabstände auf 0,598 cm gebracht werden. Die Kombination dieser Zelle M II mit dem Drehkompensator entspricht einem Zellenfaktor (Seite 28) von

$$C = 0{,}259.$$

Zur Untersuchung von Nitrobenzol mußte schließlich eine ganz kleine Zelle M III konstruiert werden, deren quadratische Platten von 2,02 cm Kantenlänge im Abstand von 1,39 cm von einander standen. Da bei diesen Kondensatordimensionen, die von Lemoine aufgestellte Randfeldformel nicht mehr gilt und es auch mehr nur auf relative Messungen der Dispersion ankam, wurde von einer Randfeldkorrektur abgesehen. Die Dimensionen dieser Meßzelle konnten nicht günstiger gehalten werden, da ich sonst die gegen CS_2 sehr große elektrische Doppelbrechung von Nitrobenzol mit meinem Drehkompensator nicht kompensieren konnte.

Messungen.

Die relativen Messungen wurden in folgender Weise ausgeführt. Die zu messende Substanz, deren Kerrkonstante ungefähr bekannt sein mußte, wurde in die entsprechende gereinigte Meßzelle filtriert, die dann vor die Drehkompensatorzelle gestellt und so lange justiert wurde, bis das Licht durchging, ohne die Platten zu streifen, die mit der Polarisationsebene einen Winkel von 45^0 bildeten. Die auf Seite 12 beschriebene monochromatische Beleuchtungsanordnung war für die vorliegenden Messungen zu lichtschwach, da durch den nur wenige $^1/_{10}$ mm großen Kreuzspalt Sp. 2 (p. 9) nur sehr wenig Licht durchging. Da aber die relative Dispersion der elektrischen Doppelbrechung viel weniger von der Wellenlänge abhängt, als die absoluten Werte, und deshalb eine streng monochromatische Beleuchtung nicht erforderlich war, verwandte ich als Lichtquelle eine einfache Bogenlampe mit gelben Effektkohlen, die ein ziemlich gleichmäßig über das sichtbare Spektrum hin verteiltes Linienspektrum geben. Das durch ein geradesichtiges Prisma spektral zerlegte Licht passierte dann die auf Seite 8 beschriebene Apparatur. Die Wellenlänge des durch den Kreuzspalt durchgegangenen und zur Messung benutzten Lichtes, wurde mit einem Steinheil'schen Spektralapparat gemessen. Die relativen Messungen wurden möglichst bei derjenigen Wellenlänge ausgeführt, für die auch die absoluten Werte der elektrischen Doppelbrechung von Schwefelkohlenstoff bestimmt worden waren.

Die geeignetste Elektrizitätsquelle zum Aufladen der Zellen bildete ein auf ca. 8000 Volt Effektivspannung transformierter Wechselstrom von 1000 Perioden, den eine dem Institut gehörende Hochfrequenzmaschine der A. E. G. lieferte. Ein Pol des Transformators wurde geerdet, der andere wurde mit den nicht geerdeten

Platten der beiden Zellen verbunden. Die an die Zellen angelegte Spannung wurde mit einem Braun'schen Elektrometer kontrolliert, um schädliche Überspannungen in den Zellen zu vermeiden.

Nachdem dann das Glas Halbschattensystem gespannt war, wurde der Strom geschlossen, aber immer nur für einen Augenblick, um die Schlierenbildung in den zu messenden, zum Teil gut leitenden Substanzen möglichst einzuschränken. Der Kompensator wurde dann so lange gedreht, bis die beiden Hälften des Halbschattensystems wieder gleich dunkel erschienen. In dieser Stellung darf sich beim Schließen und Öffnen des Stromes an den beiden Hälften des Gesichtsfeldes nichts ändern. Der Winkel α des Drehkompensators wurde dann abgelesen. Diese Kompensation wurde für jede Wellenlänge 15 Mal ausgeführt. Der Mittelwert des Winkels α diente dann zur folgenden Berechnung der Kerrkonstante B. Nach Gleichung (3) auf Seite 23 ist

$$\frac{B_1}{B_o} = \frac{l_o \, a_1^2}{a_o^2 \cdot l_1} \cdot f(\alpha) \quad \ldots \quad (1)$$

$\frac{l_o \, a_1^2}{a_o^2 \cdot l_1}$ ist nun aber der reziproke Teil der auf Seite 28 mit Zellenfaktor bezeichneten Konstante.

Gleichung (1) reduziert sich also auf den Ausdruck

$$\frac{Bx}{B\,cs_2} = \frac{f(\alpha)}{c} \quad \ldots \quad (2)$$

Für C sind bei Gebrauch der verschiedenen Zellen die entsprechenden Werte einzusetzen. Die in den folgenden Tabellen angeführten absoluten Werte der elektrischen Doppelbrechung wurden in der Weise gewonnen, daß in der Formel (2) der der verwendeten Wellenlänge entsprechende Wert B von Schwefelkohlenstoff eingesetzt wurde.

Die absoluten Werte von $B\,cs_2$ wurden, soweit sie nicht schon gemessen waren, aus der auf Seite 18 angeführten Kurve, die für diesen Zweck in größerem Maßstab gezeichnet wurde, interpoliert.

Chloroform.

Chloroform wurde als erste Substanz untersucht, weil dasselbe eine negative Kerrkonstante besitzt, deren absoluter Wert sehr nahe gleich dem des CS_2 ist, man also hoffen durfte, wenn das Vorzeichen der Kerrkonstante irgend einen Einfluß auf die Dispersion ausübt, diesen am ehesten durch Vergleichen des Chloroforms mit dem CS_2 zu erkennen.

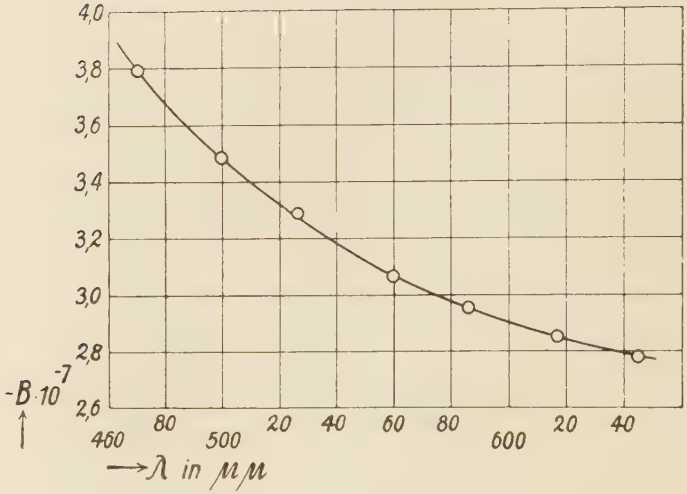
Chloroform wurde in der Meßzelle I gemessen. Da sich diese Substanz schon in kurzer Zeit zersetzt, wobei Phosgen und Salzsäure gebildet wird, wurde das zur Messung benutzte Chloroform nach einer von Herrn Prof. Gattermann freundlichst angegebenen Methode gereinigt:

„Reinstes Chloroform wird mehrere Male mit dem gleichen Volumen Wasser, dann mehrere Male mit verdünnter Natronlauge und schließlich wieder mit Wasser gut durchgeschüttelt. Nach dem Filtrieren trocknet man mehrere Stunden mit nicht zu wenig Chlorcalcium. Nach dem Filtrieren destilliert man es über nicht zu wenig Phosphorsäureanhydrid, wobei die ersten Anteile verworfen werden."

Tabelle 3 und Kurve gibt die Resultate wieder.

Wellenlänge in $\mu\mu$	— B bei 20^0	n Brechungsexponent (20^0)	— C $\frac{B\,\lambda\,n}{(n^2-1)^2}$	— B berechnet für $c = -2{,}100 \cdot 10^{-11}$
470	$3{,}79 \cdot 10^{-7}$	1,4542	$2{,}09 \cdot 10^{-11}$	$3{,}81 \cdot 10^{-7}$
500	3,48	1,4518	2,07	3,53
527	3,29	1,4501	2,07	3,34
560	3,06	1,4482	2,07	3,11
586	2,95	1.4467	2,10	2,95
617	2,85	1,4455	2,15	2,79
645	2,78	1,4444	2,20	2,66

Tab. 3. Chloroform.



Kurve 3.

Da Chloroform, wie oben schon erwähnt, mit negativer Kerrkonstante eine ungefähr ebenso starke elektrische Doppelbrechung wie CS_2 aufweist und die der Kompensation entsprechenden Werte f (α) ca. 0,5 betrugen, (siehe p. 27) konnte diese Substanz mit einer Genauigkeit von ca. 3‰ gemessen werden.

Die in der dritten Vertikalreihe angegebenen Werte n des Brechungskoefficienten wurden aus einer Kurve interpoliert, die nach den in den phys.-chemischen Tabellen von Landolt und Börnstein angegebenen Werten gezeichnet war.

Die beobachteten Werte B passen sich ganz gut der von Havelock angegebenen Formel an, wobei nur der letzte rote Wert eine stärkere Abweichung zeigt. Allerdings läßt sich nicht in Abrede stellen, daß ein Gang in den berechneten Werten gegenüber den beobachteten angedeutet ist.

Äthyläther.

Als zweite Substanz wurde Äthyläther untersucht, der verglichen mit CS_2 eine verhältnismäßig geringe optische Dispersion zeigt und durch dessen Untersuchung man mithin festzustellen hoffen konnte, ob eine Beziehung zwischen der Dispersion der Brechung und der Dispersion der elektrischen Doppelbrechung besteht.

Meßzelle I diente auch zur Messung von Äthyläther, der nach Prof. Gattermann[1]) folgender Reinigung unterzogen wurde.

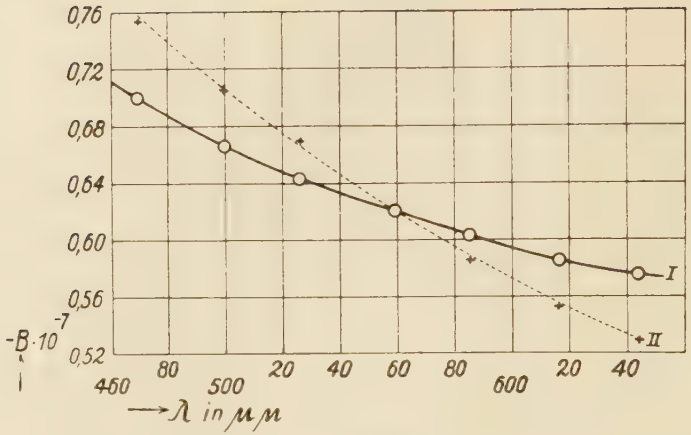
„Käuflicher Äther wird mehrere Male mit Wasser gut durchgeschüttelt und dann über nicht zu wenig Chlorcalcium mehrere Stunden stehen gelassen. Man gießt darauf den Äther vom letzteren ab und versetzt ihn mit einigen dünnen Scheiben blanken Natriums, worauf man das Gefäß durch ein in einem Korke befindliches offenes Chlorcalciumrohr verschließt. Sobald die Gasentwickelung vollständig aufgehört hat, destilliert man den Äther aus dem gleichen Gefässe vom Natrium ab, wobei man, um Wasserentziehung aus der Luft zu verhindern, die Vorlage (Saugflasche) mit dem Kühlrohre durch einen Kork verbindet und hinter das Saugrohr ein Chlorcalciumrohr legt."

Tabelle 4 und Kurve stellt die gewonnenen Resultate dar.

Wellenlänge in $\mu\mu$	- B bei 20°	n Brechungskoeff. (20°)	C - $B\lambda$	— B berechnet für c = $0{,}673 \cdot 10^{-11}$
470	$0{,}695 \cdot 10^{-7}$	1,3589	$0{,}620 \cdot 10^{-11}$	0,755
500	0,663	1,3573	0,634	0,704
527	0,642	1,3561	0,645	0,669
560	0,620	1,3548	0,675	0,619
586	0,606	1,3539	0,693	0,587
617	0,584	1,3530	0,708	0,555
645	0,576	1,3522	0,731	0,530

Tab. 4. Äthyläther.

[1]) L. Gattermann. Die Praxis d. organ. Chemikers p. 326.



Kurve 4.

Die Werte n des Brechungskoeffizienten wurden aus einer Kurve interpoliert, die nach den in den phys.-chemischen Tabellen von Landolt und Börnstein angegebenen Werten gezeichnet war. Die Werte der Havelock'schen Konstante C weichen stark voneinander ab und zeigen einen deutlichen Gang. Trotzdem die Meßgenauigkeit bei der Untersuchung von Äther wegen der kleineren Kerrkonstante ca. fünfmal kleiner war als bei den übrigen Messungen und ca. 1,5% betrug, sind diese Abweichungen bei weitem größer, als daß sie durch Meßfehler erklärt werden können. Die Dispersion der elektrischen Doppelbrechung ist verglichen mit der anderer Substanzen sehr klein, und zeigt sich hier ein deutlicher Parallelismus dieser Erscheinung mit der optischen Dispersion. Die Dispersion der elektrischen Doppelbrechung von Äther ist ferner kleiner als nach Havelocks Formel zu erwarten war, wie Kurve 4 deutlich zeigt, in der die schwarze Linie I die beobachteten Resultate darstellt, während die punktierte Linie II die Werte wiedergibt, die aus der Havelock'schen Formel berechnet wurden, in der für C der Mittelwert $-0{,}673 \cdot 10^{-11}$ eingesetzt wurde.

Äthyläther zeigt also eine gegen die anderen untersuchten Substanzen auffallend geringe Dispersion der elektrischen Doppelbrechung. Ob nun Äther in dieser Beziehung eine Sonderstellung einnimmt, oder ob die Havelock'sche Beziehung für Substanzen mit kleiner optischer Dispersion nicht gilt, läßt sich nicht entscheiden, da noch zu wenig Material vorliegt. Ich möchte aber nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß der Gang in der Differenz zwischen den nach der Havelock'schen Formel berechneten und den beobachteten Werten in demselben Sinne ist, wie er bei Chloroform zu erkennen ist.

Cumol.

Lippmann[1]) hat bei seinen relativen Messungen der Kerrkonstante nach der des Coudres'schen Methode als Vergleichssubstanz Cumol verwendet. Es schien von Interesse, diese Substanz zu untersuchen. Das Kahlbaum'sche Cumol von 160°—170° Sd., das keiner weiteren Reinigung unterzogen wurde, wurde in der Meßzelle I untersucht. Die Messungen gestalteten sich äußerst mühselig, da diese Substanz eine Erscheinung zeigt, die Leiser[2]) als „Remanente Doppelbrechung" bezeichnet hat. Diese Erscheinung besteht darin, daß nach Anlegen einer Spannung an die Zelle, die Doppelbrechung nicht momentan, sondern erst nach einigen Augenblicken ihren wahren Höchstwert erreicht, und ebenso nach Unterbrechen des Stromes nur langsam zurückgeht. Ein Einstellen auf Dunkel ist bei dieser Substanz äußerst erschwert.

Cumol zersetzt sich außerdem bei Licht und Stromdurchgang schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit, wobei es trübe wird und feine Nadeln ausscheidet, die beim Anlegen eine Spannung an die Zellenplatten, in

[1]) Lippmann. Elektr. Doppelbrechung in Flüssigkeiten. Dissertation. Leipzig 1912.

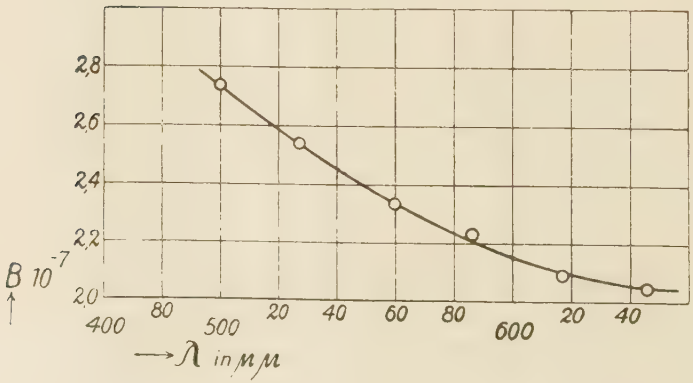
[2]) Leiser. Habilitationsschrift. Seite 37.

lebhafte Bewegung geraten und hierdurch Schlieren verursachen, die ein Beobachten unmöglich machen. Da diese Substanz gelblich gefärbt ist, und blaues Licht stark absorbiert, konnte für diese Wellenlänge keine Messung ausgeführt werden.

Als Vergleichssubstanz scheint mir das Cumol deshalb wenig geeignet zu sein. Die folgende Tabelle und Kurve 5 gibt die Resultate wieder, die allerdings keinen Anspruch auf größere Genauigkeit machen können.

Wellenlänge in $\mu\,\mu$	B bei 20^0	n Brechungskoeff. $(15{,}1^0)$	$C = \frac{B\,\lambda\,n}{(n^2-1)^2}$	B berechnet für C = $1{,}287 \cdot 10^{-11}$
500	$2{,}74 \cdot 10^{-7}$	1,5027	$1{,}30 \cdot 10^{-11}$	$2{,}71 \cdot 10^{-7}$
527	2,54	1,4998	1,29	2,54
560	2,33	1,4970	1,27	2,36
586	2,24	1,4949	1,29	2,24
617	2,09	1,4926	1,28	2,11
645	2,03	1,4918	1,30	2,01

Tab. 5. Cumol.



Kurve 5.

Die Werte n des Brechungskoeffizienten wurden aus einer Kurve interpoliert, die nach den in den phys.-

chemischen Tabellen von Landolt und Börnstein angegebenen Werten gezeichnet war. Diese Werte des Brechungskoeffizienten, die von Landolt und Jahn[1]) stammen, gelten allerdings für eine Temperatur von 15,1°. Diese Werte wurden aber trotzdem der Berechnung der Havelock'schen Konstante C zugrunde gelegt, da der Temperaturkoeffizient von Cumol in der Originalarbeit nicht angegeben ist. Ich glaube hierdurch keinen namhaften Fehler gemacht zu haben, da der Temperaturkoeffizient doch wohl für alle Wellenlängen derselbe oder doch wenigstens sehr nahe derselbe ist und für die Berechnung der Havelock'schen Konstante C nur die relativen Werte maßgebend sind.

Die Werte der Havelock'schen Konstante C und infolgedessen die beobachteten und berechneten Werte der Kerrkonstante B stimmen gut überein. Es zeigt sich wieder kleine Dispersion der elektrischen Doppelbrechung bei kleiner optischen Dispersion.

α. Bromnaphtalin.

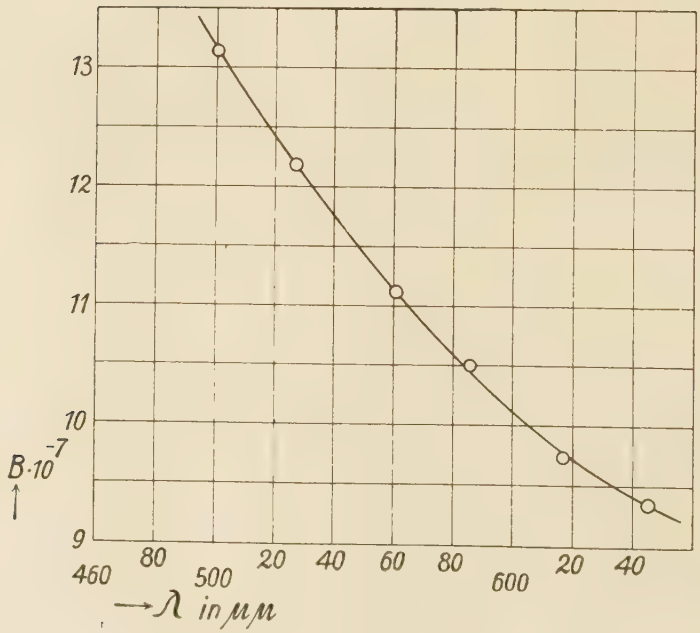
α. Bromnaphtalin wurde untersucht, sozusagen als Gegenstück zu Äthyläther, um eine Substanz mit großer optischer Dispersion zu haben.

α. Bromnaphtalin (Kahlbaum) wurde ohne weitere chemische Reinigung in Meßzelle II untersucht. Die Messungen gestalteten sich sehr genau. Die Abweichungen vom Mittelwert betrugen ca. 3‰. In der folgenden Tabelle und Kurve sind die Resultate zusammengefaßt.

[1]) Landolt und Jahn. Zeitschrift für phys. Chemie 10. p. 289. 1892.

Wellenlänge in $\mu\mu$	B bei 20^0	n Brechungsexponent	$C = \frac{B\ \lambda\ n}{(n^2-1)^2}$	B berechnet für $C = 3{,}333 \cdot 10^{-11}$
500	$13{,}13 \cdot 10^{-7}$	1,6778	$3{,}34 \cdot 10^{-11}$	$13{,}09 \cdot 10^{-11}$
527	12,17	1,6705	3,34	12,14
560	11,11	1,6633	3,32	11,15
586	10,50	1,6590	3,32	10,53
617	9,75	1,6537	3,32	9,78
645	9,36	1,6510	3,35	9,32

Tab. 6. α Bromnaphtalin.



Kurve 6.

Die Werte n des Brechungsexponenten wurden in derselben Weise wie bei den anderen Messungen gewonnen. Die Werte der Havelock'schen Konstante C

und infolgedessen die beobachteten und berechneten Werte der Kerrkonstante B stimmen sehr gut überein.

Ein „Gang“ in den berechneten Werten gegenüber den beobachteten ist kaum angedeutet.

Hier entspricht großer optischer Dispersion eine sehr starke Dispersion der elektrischen Doppelbrechung.

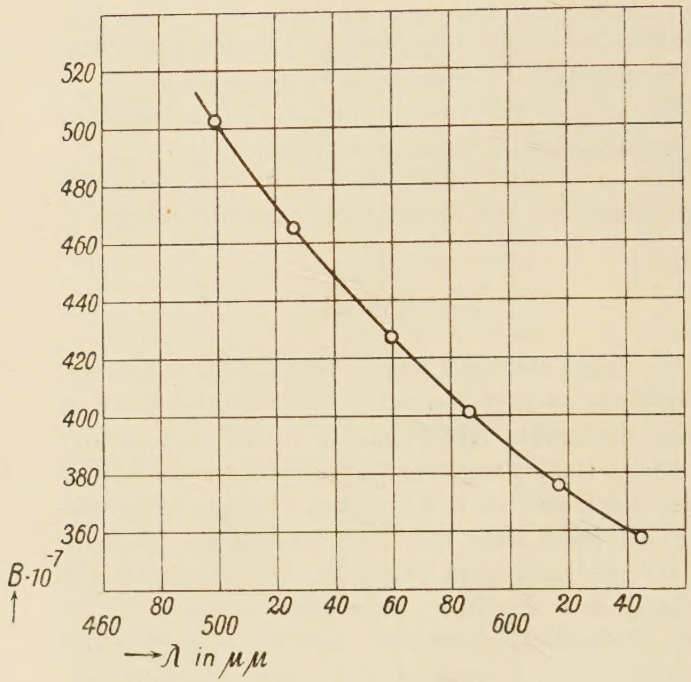
Nitro-Benzol.

Als letzte Substanz wurde Nitrobenzol untersucht, die Substanz, welche von allen bisher Untersuchten so ziemlich die größte Kerrkonstante besitzt und von den im Vorhergehenden angeführten Substanzen sich dadurch unterscheidet, daß sie nicht isoliert, vielmehr verhältnismäßig gut leitet, und eine Dielektrizitätskonstante besitzt, für die auch nicht angenähert die Maxwell'sche Beziehung $\varkappa = n^2$ gilt. — Nitro-Benzol wurde in der kleinen Meßzelle III gemessen, nachdem es längere Zeit mit Chlorcalcium getrocknet und dann destilliert worden war.

Die folgende Tabelle und Kurve gibt die Resultate wieder.

Wellenlänge in $\mu\mu$	B bei 20^0	n Brechungsexponent	$C = \frac{B\,\lambda\,n}{(n^2-1)^2}$	B berechnet für C = $184 \cdot 10^{-11}$
500	$503 \cdot 10^{-7}$	1,5685	$185 \cdot 10^{-11}$	$500 \cdot 10^{-7}$
527	466	1,5629	184	466
560	427	1,5572	184	428
586	401	5,5535	183	403
617	376	1,5500	183	378
645	357	1,5472	183	358

Tab. 7. Nitro-Benzol.



Kurve 7.

Die Werte n des Brechungskoeffizienten wurden aus einer Kurve interpoliert, die nach den Werten gezeichnet wurde, die in den phys.-chemischen Tabellen von Landolt und Börnstein angegeben sind. Bei den auf Seite 30 angegebenen Dimensionen der Meßzelle III war eine Absolutbestimmung der Kerrkonstante gänzlich unmöglich. Die in der Tabelle angegebenen Werte B machen keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit, da sie wegen Vernachlässigung der Randfeldkorrektur sicher zu groß sind.

Relativ zu einander sind aber diese Werte innerhalb der Versuchsfehler, die wie bei den anderen Messungen ca. 3‰ betrugen, richtig, da der infolge der Apparatdimensionen gemachte Fehler in alle Messungen gleich-

mäßig eingeht. Die Werte der Havelockschen Konstante C und infolgedessen die beobachteten und berechneten Werte der Kerrkonstante B stimmen gut überein.

Es zeigt sich wieder große Dispersion der elektrischen Doppelbrechung bei großer optischer Dispersion.

Zusammenfassung der Resultate.

1. Die Kerrkonstante von Schwefelkohlenstoff ist für 10 verschiedene, angenähert gleichmäßig über das sichtbare Spektrum verteilte, Wellenlängen bestimmt worden.

2. Die Dispersion der elektrischen Doppelbrechung wurde für verschiedene Substanzen und zwar solche mit großer und kleiner, mit positiver und negativer Kerrkonstante, gemessen durch Vergleichen derselben mit der des CS_2.

3. Die erhaltenen Resultate wurden mit den nach der Havelock'schen Formel berechneten verglichen. Bei den Substanzen mit starker elektrischer Doppelbrechung und großer optischer Dispersion zeigte sich eine recht gute Übereinstimmung, bei Äthyläther, der geringere elektrische Doppelbrechung und nur schwache optische Dispersion aufweist, ist die Übereinstimmung nur eine mäßige.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geheimen Rat Prof. Dr. F. Himstedt für die Anregung und Förderung dieser Arbeit und sein mir stets bewiesenes Wohlwollen meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Desgleichen schulde ich Herrn Privatdozent Dr. Schwarz und Herrn cand. chem. Haacke großen Dank für ihre vielfache Unterstützung bei der Reinigung der benutzten Substanzen.